

## PENGARUH AIR LAUT TERHADAP KEKUATAN TEKAN BETON YANG TERBUAT DARI BERBAGAI MERK SEMEN YANG ADA DI KOTA MALANG

Sonny Wedhanto

**Abstrak** : Beton yang terkena pengaruh air laut disyaratkan menggunakan semen Tipe V; namun semen tersebut tidak tersedia di toko-toko bahan bangunan di Malang. Semen yang beredar ada tiga dengan tipe yang berbeda: Tipe I; “setara” Tipe I; dan Tipe II. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui reaksi kekuatan tekan beton yang menggunakan berbagai jenis merk semen yang beredar di Malang terhadap pengaruh air laut, dan mengetahui semen yang terkuat terhadap pengaruh air laut. Sampel menggunakan silinder beton ukuran standar, mutu  $f_c' = 17$  MPa; tiap perlakuan menggunakan lima buah benda uji; perlakuan dengan merendam benda uji dalam air laut selama 7; 14; dan 28 hari. Pengujian kekuatan tekan menggunakan Universal Testing Machine kapasitas 100 ton. Hasil pengujian: (1) selama 7 hari direndam air laut, kekuatan tekan beton meningkat dengan cepat, tetapi ketika direndam lebih lama kekuatannya cenderung turun; (2) selama 28 hari direndam air laut beton menggunakan semen Tipe I kekuatan tekannya relatif paling tinggi.

**Kata-kata kunci:** Beton; air laut; kekuatan; semen

**Abstract** : Concrete affected by sea water is required using Type V cement; the problem is that cement is not available in building materials stores in Malang. There are three outstanding cements with different types: Type I; “Equivalent” Type I; and Type II. This study aims to determine the reaction of concrete compressive strength using various types of cement brands circulating in Malang against the influence of sea water, and to know the strongest cement to the influence of sea water. Samples using standard size concrete cylinders,  $f_c' = 17$  MPa; each treatment using five specimens; treatment by immersing the test specimen in seawater for 7; 14; and 28 days. Testing compressive strength using Universal Testing Machine capacity of 100 tons. Test results: (1) for 7 days soaked in seawater, concrete compressive strength increases rapidly, but when soaked for longer its strength tends to decrease; (2) for 28 days soaked concrete seawater using cement Type I compressive strength is relatively high.

**Keywords:** Concrete; sea water; power; cement

Concrete, yang dalam Bahasa Indonesia diterjemahkan sebagai “beton”, berasal dari bahasa Yunani Kuno “emplecton”, artinya batu konglomerat buatan yang dibuat dari kerikil atau batu pecah dicampur pasir lalu direkatkan menggunakan lime, yaitu sejenis bubuk Kalium Oksida ( $\text{CaO}$ ) berwarna putih yang diperoleh dari hasil pembakaran batuan kapur atau material lain yang mengandung Kalium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) [Lea, 1971]; sedangkan konglomerat sendiri adalah nama jenis batuan yang tersusun dari pecahan batubatu kecil sebesar kerikil berbentuk bulat yang direkatkan bersama oleh mineral lain membentuk batu yang lebih besar. [Andu, 1987].

Bangsa Israel telah mengenal beton semen-jak 7000 tahun sebelum masehi. [Kurdowski, 2014]. [Neufeldt, (ed)., dan Guralnik, (ed)., 1991]. Beton yang dikenal sekarang ini terbuat dari kerikil sebagai agregat kasar, pasir sebagai agregat halus, berfungsi sebagai pengisi celah-celah diantara agregat kasar agar tidak membentuk rongga, dan adonan Semen Portland (PC) yang dicampur air sebagai perekatnya, sehingga butiran agregat melekat menjadi satu kesatuan yang jika kering menjadi keras seperti batu. Kalau dibandingkan dengan bahan bangunan lainnya, beton sampai sekarang masih dianggap punya banyak kelebihan seperti: (1) biaya pembuatan-

nya relatif murah, (2) bahan pembuat beton mudah diperoleh, (3) membutuhkan biaya perawatan yang relatif rendah, (4) dapat digunakan dalam berbagai kondisi cuaca, dan (5) dapat dibuat di tempat kerja (in situ) sesuai bentuk yang diinginkan. [Thomaz, 2012].

Pembuatan dan perawatan beton memerlukan air; pada pembuatan beton air diperlukan sebagai pereaksi adonan Semen PC supaya terjadi reaksi kimia saat mengalami proses hidrasi, yaitu proses dimana semen PC mulai mengikat bahan penyusun beton lalu mengeras dan membentuk masa yang padat; sedangkan kebutuhan air dalam perawatan beton adalah untuk merendam selama proses pengerasan, namun demikian tidak semua jenis air dapat digunakan. Disyaratkan air harus bersih dan bebas dari sejumlah minyak, asam, alkali, garam, zat organik zat/ bahan yang merusak mortar, atau semua logam yang terdapat di dinding. [Badan Standarisasi Nasional. 2002]. Biasanya air yang dapat digunakan untuk mencampur juga dapat digunakan untuk merawat beton. [Neville dan Brooks, 1987.]. Permasalahannya tidak selamanya proyek konstruksi beton di Indonesia berada pada daerah yang terbebas dari pengaruh air laut. Kendati dalam pembuatannya beton dicampur menggunakan air tawar, tetapi pada akhirnya tetap akan terkontaminasi air laut.

Sebenarnya beton yang terpengaruh/ berhubungan dengan air laut disyaratkan menggunakan jenis Semen Tipe V, yaitu jenis semen yang tahan terhadap lingkungan Sulfat [Neville dan Brooks, 1987.]; akan tetapi semen tipe ini tidak pernah dijumpai dijual di toko-toko bahan bangunan sekitar Malang. Akibatnya sekalipun untuk pembuatan beton di daerah lingkungan agresif, seperti di daerah sekitar pantai, masyarakat tetap menggunakan jenis semen PC Tipe I yang sebenarnya tidak direkomendasikan untuk pembuatan beton yang kontak/ terpengaruh air laut, namun terpaksa dipakai karena tidak ada pilihan lain [Utama 2010].

Secara umum semua jenis semen dibuat dari empat bahan dasar yang sama. Tiap pabrik kemudian menambah campuran yang komposisinya dirahasiakan agar mutu semen yang dihasilkan meningkat [Neville dan Brooks, 1987]. Oleh karena itu dimungkinkan antara semen merk satu dengan yang lain menghasilkan reaksi kimia yang berbeda jika terkena air laut, baik untuk mencampur maupun untuk

pemeliharaan beton pasca pengecoran. Akibatnya antara semen PC merk satu dan lainnya punya kekuatan rekat yang berbeda, ada kemungkinan beton yang dibuat menggunakan semen merk satu menghasilkan kekuatan tekan yang berbeda dengan merk semen yang lain.

Di daerah Malang, ada beberapa merk semen yang dijual di pasaran, masing-masing merk memiliki tipe yang sedikit berbeda, yaitu Tipe I; “setara” Tipe I; dan Semen Tipe II. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengetahui pengaruh kontak air laut terhadap kekuatan beton yang dibuat dari jenis tipe semen yang dijual di pasaran sekitar Kota Malang, dan (2) mengetahui jenis semen di pasaran yang paling toleran terhadap pengaruh air laut.

### Komponen Utama Semen

Pada umumnya bahan utama pembuatan semen terdiri dari: kapur; silica; alumina; dan oksida besi yang dicampur menjadi satu, lalu dibakar dalam tungku, sehingga menghasilkan material baru dengan rumus kimia sangat rumit, serta sedikit sisa pembakaran kapur yang tidak sempat bereaksi menjadi bentuk kimia yang setimbang. Kecepatan pendinginan dalam tungku, menentukan berapa jumlah kristal semen yang dihasilkan dan jumlah residu material yang tidak dapat mengkristal terkandung dalam kerak sisa pembakaran. Material residu bentuknya seperti kaca, tetapi dengan komposisi kimia yang sangat berbeda, sebab hanya sedikit memiliki kesamaan dengan kristal semen.

Kesulitan dalam pembuatan semen adalah, memisahkan antara kristal-kristal semen yang sudah terbentuk, karena pada saat di dalam tungku kondisi semen masih bercampur dengan cairan kerak sisa pembakaran. Semen baru dianggap sebagai hasil akhir produksi yang siap jual, jika sudah dalam bentuk beku dan dalam kondisi seimbang pada temperatur kerak yang telah dingin. Hasil akhir produk semen yang demikian ini dibuat sebagai dasar perhitungan untuk menentukan komposisi material yang terkandung dalam semen-semen yang diperdagangkan di pasaran.

Perhitungan komposisi material semen didasarkan pada hasil pengukuran kadar kandungan oksida dalam kerak sebagai bentuk kristal-kristal yang telah seimbang. Empat komponen utama yang terkandung dalam semen ditulis pada Tabel 1 [Neville dan Brooks, 1987].

Tabel 1 Komponen Utama Semen

Nama Campuran	Komposisi Oksida	Singkatan
Trikalsium Silikat	$3CaO.SiO_2$	$C_3S$
Dikalsium Silikat	$2CaO.SiO_2$	$C_2S$
Trikalsium Aluminat	$3CaO.Al_2O_3$	$C_3A$
Tetrakalsium Aluminoforit	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	$C_4AF$

[Sumber, Neville dan Brooks, 1987 h: 10]

Perhitungan komposisi campuran semen didasarkan pada rumus R.H Bogue dan kawan-kawan, yang dikenal sebagai komposisi Bouge. Menurut Bouge persentase komponen utama pada semen dapat ditulis dalam bentuk Persamaan 1. Lambang kimia di dalam kurung menunjukkan persentase kandungan oksida yang terdapat pada masa semen total. [Neville & Brooks, 1987].

$$C_3S = 4,07(CaO) - 7,60(SiO_2) - 6,72(Al_2O_3) - 1,43(Fe_2O_3) - 2,85(SiO_3) \dots\dots\dots (1a)$$

$$C_2S = 2,87(SiO_2) - 0,754(3CaO.SiO_2) \dots\dots\dots (1b)$$

$$C_3A = 2,65(Al_2O_3) - 1,69(Fe_2O_3) \dots\dots\dots (1c)$$

$$C_4AF = 3,04(Fe_2O_3) \dots\dots\dots (1d)$$

Silikat,  $C_3S$ , dan  $C_2S$  merupakan senyawa paling penting, sebab ke tiga bahan itu menentukan kekuatan dari pasta semen. Kandungan silikat pada semen bukan merupakan campuran yang murni, melainkan mengandung sedikit oksida padat yang secara signifikan akan mempengaruhi susunan atom; bentuk kristal; dan perilaku hidrolis semen.

Kandungan  $C_3A$  pada semen sebenarnya tidak dikehendaki, sebab hanya sedikit saja atau bahkan sama sekali tidak memberi nilai tambah pada kekuatan semen, terkecuali saat umur-umur awal saja. Ketika pengerasan pasta semen mengalami kontak dengan sulfat, pembentukan kalsium sulphoaluminat (ettringite) justru akan mengganggu proses pengerasan pasta semen, namun demikian kehadiran  $C_3A$  tetap dibutuhkan dalam pembuatan semen, karena fungsinya memudahkan bercampurnya kapur dengan silica.

Jika dibandingkan dengan komponen-komponen lain yang terkandung dalam semen, kadar kandungan  $C_4AF$  jumlahnya paling sedikit, sehingga tidak memberikan pengaruh terhadap semen secara signifikan, namun demikian reaksi antara  $C_4AF$  dengan gypsum membentuk kalsium sul-

phoforit; keberadaan  $C_4AF$  akan mempercepat terjadinya reaksi pada silikat itu.

Jumlah penambahan gypsum pada kerak merupakan hal yang sangat penting, sebab banyaknya penambahan itu tergantung pada berapa besar kadar  $C_3A$  dan alkali yang terkandung dalam semen. Peningkatan kehalusan semen adalah hasil dari penambahan

jumlah  $C_3A$  yang diberikan pada usia-usia muda. Penambahan ini akan menaikkan kebutuhan gypsum pada semen, namun jika ditambah dalam jumlah berlebihan justru memicu semen untuk mengembang dan kemudian mengakibatkan pasta semen pecah. Sebagai bahan tambahan dari ke empat komponen utama semen pada Tabel 1, diberikan pula campuran material gabungan yang bertujuan untuk meningkatkan mutu pada masing-masing merk semen. Tiap pabrik memberikan tambahan campuran berbeda yang jumlahnya dirahasiakan. Campuran material yang ditambahkan antara lain:  $MgO$ ,  $TiO_2$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $K_2O$ , dan  $Na_2O$  yang besarnya hanya beberapa persen dari masa semen. Dua dari bahan material tambahan yang sangat menjadi perhatian adalah yodium oksida ( $Na_2O$ ), dan potassium ( $K_2O$ ), ke dua senyawa ini dikenal sebagai alkalis (walaupun sebenarnya semen telah memiliki alkalis-alkalis lain), pengaruhnya terhadap kecepatan dan kekuatan tekan semen menjadi obyek pengamatan dalam pembuatan semen. Secara umum komposisi kimia semen seperti terdapat pada Tabel 2; khusus untuk Semen PC diberi sedikit tambahan komposisi oksida.

**Tabel 2. Perkiraan komposisi terkecil pada Semen PC**

Oksida	Persen Kandungan
CaO	60 – 67
$SiO_2$	17 – 25
$Al_2O_3$	3 – 8
$Fe_2O_3$	0,5 - 6,0
MgO	0,1 – 4,0
Alkalis	0,2 – 1,3
$SiO_3$	1 – 3

[Sumber, Neville dan Brooks, 1987 h: 11]

### Komposisi Kimia Air Laut

Kadar garam pada air laut (salinitas), diukur dari jumlah material yang terlarut dalam tiap kilogram air laut; atau setara dengan part per thousand (1/1000). Salinitas menggambarkan jumlah material yang terlarut dalam air laut; menurut Vicat (dalam Emmanuel dkk, 2012) umumnya berkisar antara 3,4-3,5%. Tabel 3 merupakan perkiraan salinitas beberapa laut terkenal di dunia. Kemampuan air untuk melarutkan garam cenderung beragam dan tergantung di mana laut itu berada, namun perbandingan komponen utama yang terkandung didalamnya relatif konstan. Komponen utama itu dihitung untuk mengetahui kelemahan dan kemungkinan runtuhnya bangunan di daerah yang terpengaruh air laut. Tabel 4 merupakan data ciri fisik dan komposisi kimia air laut secara umum.

**Tabel 3 Perkiraan salinitas di beberapa Laut**

Nama Laut	Konsentrasi Garam (%)
Laut Mediteran	3,8
Laut Baltik	0,7
Laut Utara dan Atlantik	3,5
Laut Hitam	1,8
Laut mati	5,3
Laut India	3,55

[Islam dkk, 2010]

**Tabel 4. Ciri fisik dan komposisi kimia air laut**

Spesific Gravity	1,022
pH	7,77
Na	9,290 part per thousand
K	0,346 part per thousand
Ca	0,356 part per thousand
Mg	1,167 part per thousand
Cl	17,087 part per thousand
$SO_4$	2,378 part per thousand
$CO_3$	0,11 part per thousand

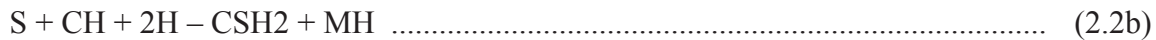
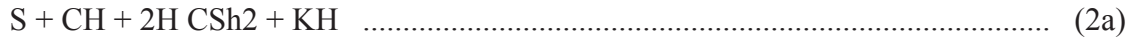
[Mohammed. T.U dkk, 2004]

### Pengaruh Kimia Air Laut terhadap Beton

Pengaruh kimia air laut terhadap beton terutama disebabkan oleh serangan Magnesium Sulfat ( $MgSO_4$ ), yang diperburuk dengan adanya kandungan Clorida didalamnya, reaksinya akan menghambat perkembangan beton. Biasanya digolongkan sebagai bagian dari serangan sulfat oleh air laut yang mengakibatkan beton tampak menjadi keputih-putihan; selain itu beton akan mengembang; sebelumnya didahului oleh terjadinya spalling (jawa = protol) dan retak. Akhirnya pada bagian beton yang terserang oleh sulfat akan menjadi lunak membentuk lapisan seperti lumpur.

Saat pertama kali mengalami serangan sulfat, kekuatan tekan beton akan naik, lalu secara berangsur-angsur mengalami kehilangan kekuatan, dan akhirnya beton mengembang. Serangan ini dipandang sebagai akibat dari kehadiran Potassium (KS) dan Magnesium Sulfat (MgS) pada air laut yang dapat menyebabkan timbulnya serangan sulfat pada beton. Serangan dimulai semenjak beton siap bereaksi dengan Calsim Hidroksida ( $Ca(OH)_2$ ) yang muncul pada semen. Pprosesnya terjadi seperti reaksi kimia yang terdapat pada Rumus 2 (Bryan. 1964, dalam Emmanuel dkk, 2012).





Keterangan: K = KO, dan M = MgO.

Sebenarnya serangan Magnesium Sulfat (MgS) perlu mendapat perhatian, sebab jika bereaksi dengan Calcium Sulfat (CSH) akan bersifat ambivalen; di satu pihak kekuatan reaksinya menghasilkan gypsum yang sifatnya menguntungkan semen, tapi di lain pihak reaksi MgS dengan calcium Hidroksida yang bercampur dengan hidrat silica ( $S^M$ ) sebagai hasil dari reaksi dengan gel semen, sejenis material yang sifatnya memiliki daya rekat, akan membentuk material baru yang berbeda, yaitu ( $M_4SH_8$ ). Material ini sifatnya tidak memiliki kemampuan rekat seperti halnya material semen. [Akinsola., Oladipo., dan Olabode., 2012.]. Tabel 5 merupakan perkiraan komposisi kadar ion yang terkandung dalam air laut pada umumnya.

**Tabel 5. Komposisi Ion pada Air Laut**

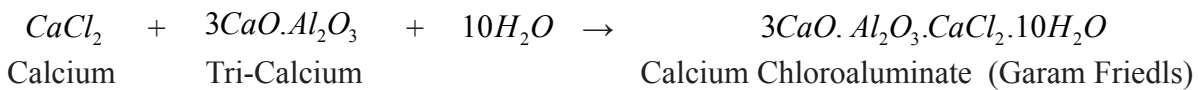
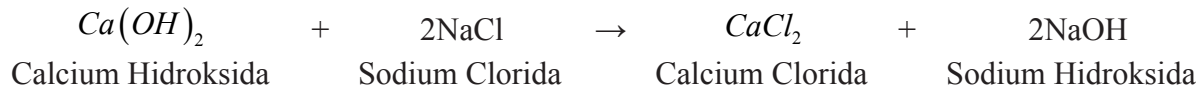
Nama Umum	Ion	(g)
Sodium	Na	10360
Magnesium	Mg <sup>++</sup>	1,294
Calcium,	Ca <sup>++</sup>	0,413
Potassium	K <sup>+</sup>	0,387
Strontium	Sr <sup>++</sup>	0,008
Clorida	CL <sup>-</sup>	19,353
Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,712
Bromide	Br-	0,008
Boron	N <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	0,001
Bikarbonat	HCO <sup>3-</sup>	0,142
Fluor	F <sup>-</sup>	0,001

[Emmanuel dkk, 2012]

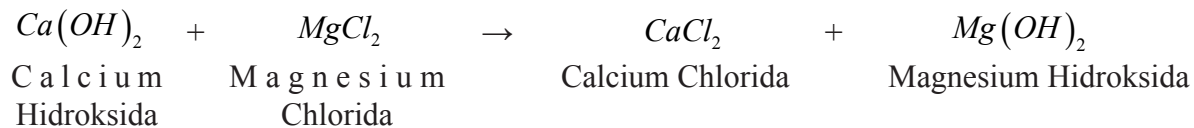
Pada lingkungan yang terpengaruh air laut, ion-ion clorida dan sulfat meresap masuk ke dalam lapisan beton, sehingga terjadi reaksi kimia sangat kompleks, yang merupakan awal dari perubahan sifat fisika dan kimia beton.

Perubahan sifat tersebut menyebabkan kemerosotan mutu beton yang diawali dengan timbul retak-retak di permukaan, kemudian beton mengalami spalling dan tulangnya mulai berkarat. Permeabilitas merupakan sifat penting yang lain yang berkaitan dengan kekuatan beton. Kurangnya perbandingan campuran beton dari yang direncanakan, merupakan awal memburuknya kekuatan beton akibat dari penurunan permeabilitas beton di lingkungan yang terpengaruh laut. Hal ini didasarkan pada sifat fisik material yang sifatnya permeabel, bahwa turunnya permeabilitas beton mengakibatkan ion garam agresif yang terkandung dalam air laut masuk ke dalam lapisan beton, kemudian mengakibatkan semen PC menjadi tidak stabil. [Beaudoin, dkk. 1999].

Ion clorida sebagai penyebab yang merugikan kekuatan beton, dapat menyerang dengan berbagai bentuk yang berbeda, tetapi umumnya serangan tersebut berasal dari hasil reaksi kimia yang bersifat ekspansif (mengembang) dari sejenis garam, yang bernama garam friedls (Calcium Cloroaluminate); dalam rumus kimia garam friedls ditulis sebagai ( $3CaO.Al_2O_3.CaCl_2.10H_2O$ ). Garam ini punya kemampuan mengembang mulai dari tingkat rendah sampai sedang. Garam friedls terbentuk dari rembesar larutan Calcium Clorida yang masuk ke dalam beton sebagai akibat dari naiknya kemampuan penyerapan air oleh beton. Proses serangan clorida pada beton dituliskan dalam reaksi kimia sebagai berikut: [Islam dkk, 2010].



$\text{MgCl}_2$  setelah bereaksi dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  dari hidrat semen, membentuk Calcium Clorida yang akan larut lalu merembes dalam beton sebagai awal terjadinya kemunduran material menjadi lebih lunak; reaksi kimianya ditulis seperti di bawah ini. [Mehta, 1986] .



Penampilan dari ettringite (Calcium Aluminat Sulfat) yang mengembang biasanya dianggap sebagai serangan sulfat. Ettringite dan gypsum, keduanya menempati 20% dari besar volume kristal pori-pori beton, sehingga kristal tersebut akan menimbulkan tegangan di dalam beton, yang kemudian mengakibatkan timbulnya retak-retak di permukaan beton, dan dikenal sebagai serangan sulfat yang lunak, biasanya retakan itu berasal dari bentukan merekahnya ettringite.

## METODE

Disain menggunakan penelitian deskriptif yang tidak perlu menggunakan hipotesis. Sampel berbentuk silinder beton ukuran standar, mutu  $f_c'$  17 MPa, pada masing-masing perlakuan menggunakan lima buah benda uji.

Bahan beton yang digunakan: (1) semen dari tiga jenis tipe, dibeli di toko bahan bangunan yang dipilih secara acak; (2) agregat halus, menggunakan pasir sungai gradasi butiran zone 2; (3) agregat kasar dari batu pecah, masuk analisis saringan BS 882 mm; (4) air menggunakan dari saluran PDAM setempat, dan (5) air laut untuk merendam diambil dari Pantai Balai Kambang di Kabupaten Malang.

Perencanaan campuran menggunakan metode DOE, dengan dasar perhitungan per-

bandingan campuran menggunakan semen Tipe II. Penakaran bahan berdasarkan perbandingan berat. Perlakuan benda uji dengan perendaman dalam air laut selama 7; 14; dan 28 hari. Pengujian tekan setelah benda uji mencapai umur perlakuan. Ringkasan sampel

dan perlakuan benda uji terdapat pada Tabel 6.

**Tabel 6 Sampel dan Perlakuan Benda Uji**

Perendaman	Jumlah Sampel (buah)		
(hari)	X1	X2	X3
7	5	5	5
14	5	5	5
28	5	5	5
Jumlah	15	15	15

Keterangan:

X1 = menggunakan semen Tipe II

X2 = menggunakan semen sekualitas Tipe I

X3 = menggunakan semen Tipe I

Dari hasil uji kekuatan tekan pada masing-masing benda uji, diperoleh data besarnya beban tekan maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji. Tegangan tekan maksimum dihitung menggunakan rumus  $\sigma = P/A$  dimana, P = besar beban tekan maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji, dan A = luas penampang silinder beton.

Hasil pengujian dan perhitungan tegangan tekan maksimum benda uji untuk masing-masing perlakuan dihitung nilai reratanya, kemudian disajikan dalam bentuk grafik yang menggambarkan retata kekuatan tekan masing perlakuan benda uji dari berbagai macam tipe semen. Dari grafik tersebut dapat diketahui be-

ton menggunakan semen jenis mana yang memiliki kekuatan tekan tertinggi setelah terendam selama 7, 14 dan 28 hari di dalam air laut.

## HASIL

### Hasil uji kekuatan tekan

Pengujian dilakukan setelah silinder beton umur 7; 14; dan 28 hari; hasil kekuatan tekan silinder beton menggunakan jenis semen yang berbeda seperti pada Tabel 7.

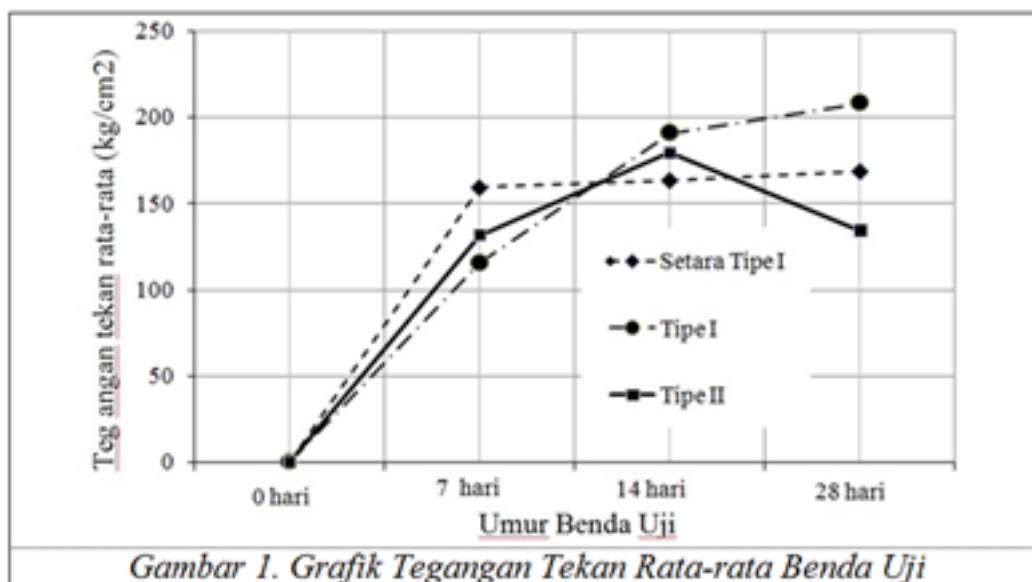
Jika digambarkan dalam bentuk grafik hasilnya seperti pada Gambar 1. Berdasarkan gambar tersebut, tampak bahwa semen yang setara Tipe I, dan Semen Tipe I, pada usia 14 hari telah melampaui target kekuatan yang direncanakan yaitu di atas 17,5 Mpa (175 kg/cm<sup>2</sup>),

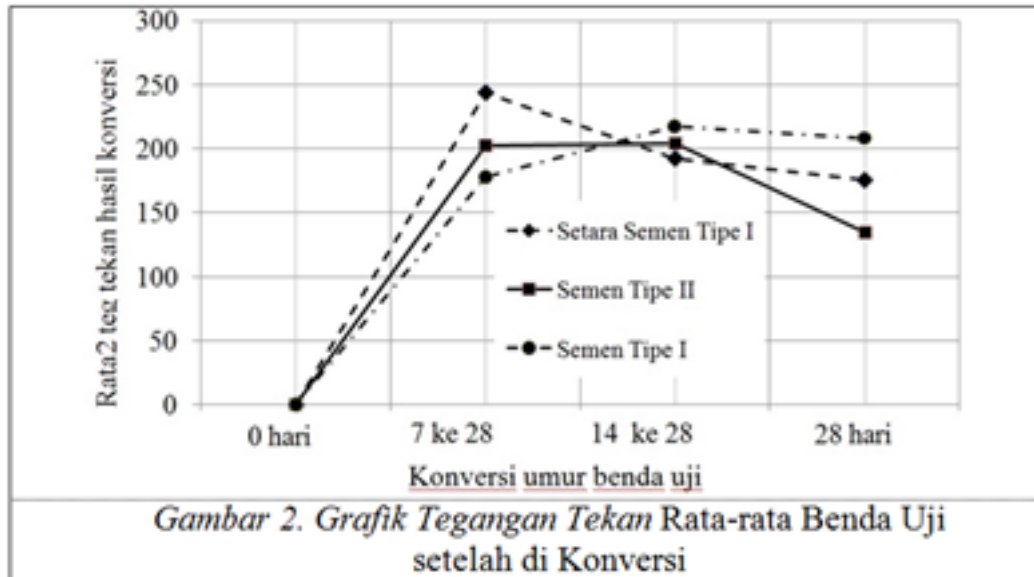
sedangkan Semen Tipe II menghasilkan kekuatan tekan beton dibawah target. Ini wajar, sebab Semen Tipe II memang sifatnya memiliki kekuatan awal yang rendah.

Untuk mengetahui apakah sampel memang benar-benar ada yang tidak melampaui target mutu beton yang direncanakan, perlu dilakukan konversi dari usia benda uji yang asli (7 dan 14 hari) menjadi usia beton standar yaitu 28 hari. Koefisien menggunakan ketentuan yang terdapat pada Peraturan Beton Indonesia (PBI)1971; dari 7 hari menjadi 28 hari dibagi dengan koefisien 0,65; dan dari 14 hari menjadi 28 hari dibagi dengan koefisien 0,88 [YDNI NI-2. 1979.]. Tegangan tekan hasil tegangan konversi digambarkan seperti pada grafik Gambar 2.

**Tabel 7 Hasil Pengujian Kekuatan Tekan**

Umur (hari)	Tipe semen	Teg tekan rata2 (kg/cm <sup>2</sup> )	SD (kg/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
7	Tipe II	131,69	14,32	10,88
14		178,88	11,10	6,21
28		135,35	20,55	15,18
7	Setara Tipe I	158,27	15,51	9,80
14		163,75	22,33	13,64
28		166,90	29,64	17,76
7	Tipe I	115,54	5,21	4,51
14		194,17	20,88	10,75
28		211,44	15,91	7,52





Berdasarkan Gambar 2 diketahui, bahwa sebenarnya pada usia 14 hari semua sampel benda uji telah mencapai target mutu yang direncanakan; sedangkan penurunan kekuatan tekan semua benda uji pada umur 28 hari adalah disebabkan karena faktor lain. Jadi target mutu beton yang digunakan dalam sampel penelitian ini sudah sesuai dengan yang direncanakan.

## PEMBAHASAN

### Pengaruh Air Laut pada Kekuatan Beton

Dari hasil pengujian kekuatan tekan benda uji (Gambar 1), pada saat beton baru dicor sampai umur 7 hari, kekuatan tekan meningkat dengan cepat, kendati pada umur selanjutnya kekuatan tekan itu masih bertambah, tetapi kenaikan itu dalam besaran yang makin kecil. Perilaku ini membuktikan bahwa kandungan C3A (Triokalsium Aluminat) dalam semen PC memang menyebabkan kenaikan kekuatan tekan beton hanya saat umur-umur awal saja, dan selanjutnya pengaruh C3A tidak terlalu signifikan terhadap bertambahnya kekuatan tekan.

Dari Gambar 1 terlihat pula, bahwa dua dari tiga kelompok sampel yang dibuat dari tipe semen berbeda, mulai umur tujuh sampai 14 hari, kekuatan beton masih naik. Naiknya kekuatan tekan beton yang terbuat dari semen Tipe II, hampir menyamai kekuatan

beton yang dibuat dari semen Tipe I; tetapi jika dikonversi menjadi kekuatan beton 28 hari, (Gambar 2), terlihat bahwa sebenarnya beton tidak mengalami kenaikan yang signifikan, bahkan pada perendaman yang lebih lama terdapat kecenderungan bahwa kekuatan tekan beton semakin turun; ada kemungkinan penyebabnya adalah jenis semen Tipe II memiliki kekuatan tekan awal yang rendah, dan sebelum mencapai kekuatannya yang optimal telah terkena serangan sulfat, sehingga kekuatannya makin lama cenderung makin turun.

Menurut (Ping dkk, 1999) permeabilitas (ketahanan material dalam menyerap air) berkaitan dengan kekuatan tekan beton, sebab berkurangnya ketahanan penyerapan beton mengakibatkan ion garam agresif yang terkandung dalam air laut akan masuk ke dalam beton, sehingga semen PC yang berfungsi sebagai perekat menjadi tidak stabil dan bereaksi kimia sangat kompleks. Ada kemungkinan, turunnya kekuatan tekan beton yang direndam air laut lebih lama disebabkan karena mutu beton yang tergolong rendah, pada mutu beton yang lebih tinggi akan memiliki permeabilitas yang lebih baik, sehingga kekuatan tekan beton tidak turun terlalu besar.

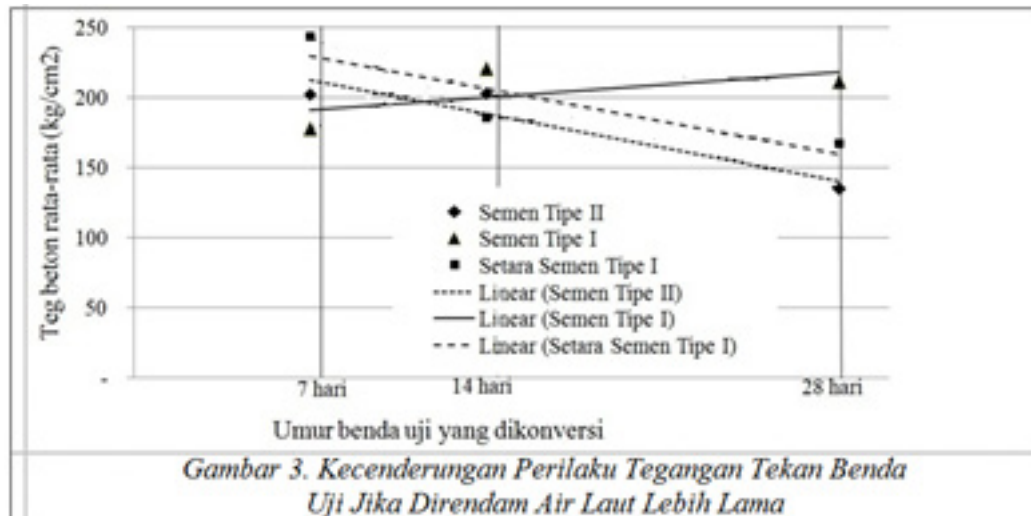
Pada saat pertama kali direndam air laut, dengan sendirinya air laut mulai meresap ma-



suk ke dalam pori-pori beton; dan pada saat itulah beton mulai terkena serangan sulfat. Menurut (Bryan., 1964, dalam Emmanuel dkk, 2012) beton mulai terserang garam sulfat ditandai dengan naiknya kekuatan tekan. Ini bisa saja terjadi, sebab umumnya serangan berasal dari Calcium cloroaluminate (garam friedls) yang mempunyai kemampuan mengembang. Pada saat masuk ke dalam pori-pori beton, garam friedls masih dalam kondisi awal mengembang, sehingga rongga-rongga yang ada pada beton akan terdesak menjadi lebih padat. Akibatnya jika dilakukan pengujian tekan, kekuatannya akan meningkat; akan tetapi jika direndam lebih lama, garam friedls akan terus membesar mengembang, sampai menekan rongga-rongga pada beton secara berlebihan.

### Semen yang Toleran pada Air Laut

Berdasarkan grafik pada Gambar 2 dan Gambar 3, diketahui bahwa beton yang relatif paling toleran terhadap air laut adalah yang dibuat dari Semen Tipe I. Kendati terendam air laut selama 28 hari masih ada kecenderungan kekuatan tekannya bertambah besar. Ini wajar, sebab jenis semen tersebut memang lebih unggul dari semen Tipe II, dan atau yang “setara” dengan Tipe I (bukan benar-benar sebagai Semen Tipe I). Untuk perendaman yang lebih lama akibatnya belum diketahui; menurut (Mohammed dkk. 2004), sampai 5 tahun terendam air laut, kekuatan tekan beton belum banyak berubah, tetapi pada perendaman yang lebih lama kekuatan tekannya merosot.



Akibatnya rongga-rongga dalam beton mengalami tekanan yang lebih besar, sehingga jika dilakukan pengujian tekan kekuatan tekannya akan menurun; kejadian ini dapat diamati pada Gambar 2. Berdasarkan konversi kekuatan beton pada umur 14 menjadi 28 hari, tampak bahwa secara umum kekuatan tekan beton akan menurun. Gambar 3 berikut ini merupakan perkiraan kecenderungan penurunan kekuatan tekan beton jika direndam lebih lama. Menurut gambar tersebut kekuatan tekan beton yang dibuat dari semen Tipe I punya kecenderungan makin naik, sedangkan beton yang terbuat dari Semen Tipe II dan sekualitas Tipe I cenderung makin turun.

### SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa: (1) Beton yang dibuat dari jenis semen yang dijual di toko-toko bahan bangunan di Kota Malang, jika direndam air laut selama 7 hari akan meningkatkan kekuatan tekan secara cepat, namun jika direndam terus selama 28 hari, kekuatan tekannya akan turun. (2) Jenis semen yang relatif paling tahan terhadap air laut selama perendaman 28 hari adalah Semen Tipe I

Hasil penelitian ini tidak dapat untuk mewakili seluruh merk semen yang beradar di sekitar Malang; namun demikian melihat kecenderungan benda uji jika lebih lama diren-

dam dalam air laut makin turun kekuatan tekannya, ada kemungkinan sekalipun dibuat dari jenis Semen Tipe I, belum tentu tetap lebih baik dari dua jenis semen yang dipakai dalam penelitian ini. Untuk itu perlu penelitian lain yang sejenis dengan memberi perlakuan perendaman pada air laut dalam waktu lebih lama.

## DAFTAR RUJUKAN

- Andu, R. (1987). Kamus Geologi. Dahara Prize, Semarang.
- Badan Standar Nasional. (2002). SNI 03-6882-2002. Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Pasangan.
- Emmanuel, A.O; Oladipor, F.A; dan Olabode, O. (2012). Investigation of Salinity Effect on Compressive Strength of Reinforced Concrete. Journal of Sustainable Development; Vol. 5, No. 6; 2012. ISSN 1913-9063 E-ISSN 1913-9071 pp: 74-82. Published by Canadian Center of Science and Education.
- Islam Moinul, Md dkk. (2010). Strength Behavior of Concrete Using Slag with Cement in Sea Water Environment. Journal of Civil Engineering (IEB), 38 (2) (2010)pp: 129-140. Department of Civil Engineering, Chittagong University of Engineering and Technology, Chittagong-4349, Bangladesh.
- Kurdowski, W. (2014). Cement and Concrete Chemistry. Springer, Dordrecht Heidelberg, New York, London.
- Lea, F.M. (1971). The Chemistry of Cement and Concrete, 3rd edn. Chemical Publishing Company, New York (1971).
- Mehta, P.K. (1986). Durability, Chapter-5, Concrete structure, Properties and Materials, Printice-Hall, Eaglewood Cliffs, New Jersey.
- Mohammed. T.U dkk. (2004). Performance of Seawater-Mixed Concrete in The Tidal Environment. Cement and Concrete Research 34 (2004)h: 593–601. (Online). (www.sciencedirect.com, 18 Juli 2016)
- Neufeldt, V (ed)., dan Guralnik, D. B. (ed)., 1991. Webster's New Word Dictionary of American English, third college edition. Prentice Hall, Singapore.
- Neville, A.M dan Brooks, J.J. (1987). Concrete Technology. Longman Scientific & Technical. Longman Group UK Limited.
- Ping, G., Beaudoin, J.J., Min, H. Z., and Malhotra, V.M., Performance of Steel Reinforcement in Portland Cement and High-Volume Fly Ash Concretes Exposed to Chloride Solution, ACI Materials Journal, V. 96, No.5, pp. 551-558, September-October, (1999).
- SNI 03-6882-2002. (2002). Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Pasangan. Tomasz GORZELAŃCZYK1, Jerzy HOŁA1, Łukasz SADOWSKI1, Krzysztof SCHABOWICZ1, 2012. Evaluation of Concrete Homogeneity in Massive Structural Element of Hydroelectric Power Plant by Means of Non Destructive Impulse Response Method. Czech Society for Nondestructive Testing NDE for Safety /DEFEKTOSKOPIE 2012. October 30 - November 1, 2012 - Seč u Chrudimi - Czech Republic (pp: 71-76).
- Utama, A.P. (2010). Pengaruh Perendaman Beton PC I PT Semen Padang dalam Air Laut dan Air Tawar Terhadap Kuat Tekan. Skripsi Sarjana Kimia, tidak dipublikasikan. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang 2010.
- Yayasan Dana Normalisasi Indonesia. (1977). Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, N.I.-2. Penerbitan kelima. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Direktorat Jendral Cipta Karya, Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. Jakarta, Juli 1977.